doi:10.13866/j. azr. 2019. 06. 23

伊犁绢蒿(*Seriphidium transiliense*)个体功能性状对短期禁牧的可塑性响应[①]

江沙沙[1]， 孙宗玖[1,2,3]， 崔雨萱[1]， 董乙强[1]

(1. 新疆农业大学草业与环境科学学院,新疆 乌鲁木齐 830052;
2. 新疆草地资源与生态自治区重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830052;
3. 西部干旱区草地资源与生态教育部重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830052)

摘　要: 为了探讨禁牧对植物个体功能性状的影响,在新疆呼图壁县、玛纳斯县及昌吉市阿什里乡对短期禁牧下蒿类荒漠草地建群种伊犁绢蒿(*Seriphidium transiliense*)的个体表型特征、构件生物量及其分配比进行了测定。结果表明:伊犁绢蒿个体功能性状对短期禁牧的响应因禁牧地点的差异而有所不同,呼图壁和玛纳斯样地的大多性状如株高、地上生物量、叶片数、叶生物量均呈显著增加($P<0.05$),而昌吉样地多数功能性状虽为增加,但均不显著。总体分析可知,短期禁牧后伊犁绢蒿的株高、地上生物量、叶片数、茎生物量、叶生物量依次显著增加 21.32%、48.97%、104.50%、50.18%、100.00%($P<0.05$),根颈直径、一级及三级分枝数出现显著下降,而二级分枝数、生殖生物量、各构件生物量分配比变化不显著。伊犁绢蒿个体表型性状与其构件生物量及分配比间均具有显著的联动效应,且短期禁牧可引起其部分个体功能性状间的相关关系发生显著改变。研究表明,短期禁牧促进伊犁绢蒿个体功能性状的恢复,利于退化蒿类荒漠草地的恢复。

关键词: 短期禁牧; 伊犁绢蒿; 功能性状; 表型性状; 生物量分配; 新疆

草地是陆地上分布最广的生态系统之一,我国拥有天然草地面积约 4.0×10^8 hm^2,占国土面积的41.70%[1]。近年来,由于超载过牧、气候变化等原因,导致天然草地退化十分严重,生态功能不断削弱,对其进行恢复治理已成为生态学研究的热点[2]。禁牧是当前国内外退化草地恢复与治理的主要措施之一[3-4],且围绕禁牧后退化草地植物群落结构[5]、生物多样性[6]、生物量[7]及土壤养分[8-9]等方面研究已有大量报道,多数结果认为禁牧可明显改善退化草地植被的质量、数量特征,利于土壤理化性质的恢复,但有关禁牧后退化草地植物功能性状的研究报道相对较少,仅见张晶等[10]、郑伟等[11]相关报道,还需进一步加强。植物功能性状(plant functional traits)是指植物对外界环境条件变化的适应能力,具体表现为其形态和生物量特征的可塑性[12-13]。国内外对植物功能性状的研究已经从个体逐渐延伸到生态系统水平,并快速延伸到生态学研究的各个领域[14-15]。探讨草地植物功能性状特征对禁牧的响应,有助于揭示退化草地恢复过程中植物个体响应的内在适应机理,这对退化草地植被恢复和管理具有重要理论及实践意义。

伊犁绢蒿(*Seriphidium transiliense*)荒漠广泛分布于新疆天山北麓山前洪积扇和低山丘陵区,牧业生产中多作为春秋场或冬场利用,是新疆季节牧场的重要组成部分[16]。目前,伊犁绢蒿荒漠草地退化十分突出,草地群落的结构与功能逐渐丧失[17],严重制约了新疆草牧业的可持续发展,并对当地绿洲生态安全造成了巨大威胁。为恢复退化的伊犁绢蒿荒漠,禁牧作为重要措施被广泛应用,并取得了较好的效果[18]。围绕禁牧对伊犁绢蒿荒漠草地的群落特征、贮藏营养、土壤养分及高光谱特征等方面已有大量研究[19-24],但有关禁牧对其植物种功能性状的研究很罕见,郑伟等[11]研究认为禁牧 2~4 a 后伊犁绢蒿构件大小和构件数量显著增加,地上同化构件和生殖构件分配增加,但研究区域仅局限于天山北坡中段山前倾斜洪积扇的单点样地,未涉及不同

① **收稿日期**: 2018-12-27; **修订日期**: 2019-03-22
基金项目: 国家基础资源调查专项(2017FY100200);国家自然科学基金项目(31260574, 31760694)资助
作者简介: 江沙沙(1994-),女,在读硕士研究生,主要从事草地资源与生态研究. E-mail: 670403802@qq.com
通讯作者: 孙宗玖. E-mail: nmszj@21cn.com

区域禁牧样地的多点分析与验证。本研究以中度退化的伊犁绢蒿荒漠为对象,在新疆呼图壁县、玛纳斯县及昌吉市阿什里乡研究短期禁牧对建群种伊犁绢蒿个体功能性状特征的影响,试图探讨:① 短期禁牧是否会改变伊犁绢蒿个体功能性状特征,如果有,如何响应;② 不同区域伊犁绢蒿个体功能性状对短期禁牧的响应是否一致? 以期明确禁牧条件下伊犁绢蒿个体生态适应策略及资源分配对策,为揭示退化蒿类荒漠草地的恢复机制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于新疆天山北坡中段昌吉自治州(43°20′~45°00′N, 85°17′~91°32′E),地处欧亚大陆的腹地,属典型的大陆性气候,夏季炎热干燥,冬季寒冷,年平均气温 6.8 ℃,年平均降雨量 190 mm,夏季降水量明显多于冬季,年无霜期为 160~190 d。研究样地均为蒿类荒漠草地,建群种为伊犁绢蒿(*Seriphidium transiliense*),伴生种有角果藜(*Ceratocarpus arenarius*)、木地肤(*Kochia prostrata*)、叉毛蓬(*Petrosimonia sibirica*)等,生产利用上属于春秋草场。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 为更好地反映禁牧对退化伊犁绢蒿荒漠建群种伊犁绢蒿的总体影响,分别在研究区内从西到东的玛纳斯县(MNS)、呼图壁县(HTB)、昌吉市阿什里乡(ASL)布设 3 个试验样地(表 1)。每个试验样地设置禁牧、放牧 2 个处理。2015 年 6—7 月,在纳斯县、呼图壁县、昌吉市阿什里乡伊犁绢蒿荒漠草地上选择地势平坦、退化程度均匀的地段进行围栏禁牧处理,面积依次为 4 000 m^2、4 000 m^2、1 000 m^2。禁牧区外围设为对照区,传统自由放牧,春秋两季利用,主要放牧新疆细毛羊。根据靳瑰丽[25]对蒿类荒漠退化评价标准,3 个试验区伊犁绢蒿荒漠整体处于中度退化。

表 1 试验样地基本情况

Tab. 1 Basic information of the experiment sample plots

样地	经纬度	海拔/m	气温/℃	降水量/mm	优势种
昌吉阿什里乡	43°52′N,87°03′E	819	6.40	185	伊犁绢蒿,叉毛蓬,角果藜
呼图壁县	43°58′N,86°32′E	978	6.79	224	伊犁绢蒿,叉毛蓬
玛纳斯县	44°01′N,86°09′E	1 033	8.18	172	伊犁绢蒿,叉毛蓬

1.2.2 测定方法 2017 年 9 月,在每个试验样地的禁牧区及对照区各随机选取伊犁绢蒿单株 15 株,株间距均大于 2 m。野外进行株高测定后,挖取整株(土层深度 30 cm),将其放入预先准备好的大塑料袋中,做好标记带回实验室对每个单株进行一级分枝数、二级分枝数、三级分枝数、根颈直径、叶片数的测定后,将其茎、叶、繁殖器官(果实)分离,获得茎生物量、叶生物量、生殖生物量的干重(65 ℃, 48 h)。

伊犁绢蒿单株株高用精度为 1 mm 钢卷尺进行直接测量;根颈直径采用数显游标卡尺(0~300 mm)进行测定;分枝数、叶片数采用直接计数法;干重采用精度为 0.01 g 的电子天平进行称量。

1.2.3 数据分析 利用 SPSS 19.0 软件的独立 t 检验法进行禁牧内外伊犁绢蒿个体各功能性状的差异分析;采用单年多点实验设计,利用双因素分析禁牧对伊犁绢蒿个体各功能性状的总体影响。同时,为了更好地反映禁牧对伊犁绢蒿个体功能性状的影响,采用 Niu 等[26]提出的响应速率(log response ratio, LRR)阐述其对禁牧响应的一般规律。

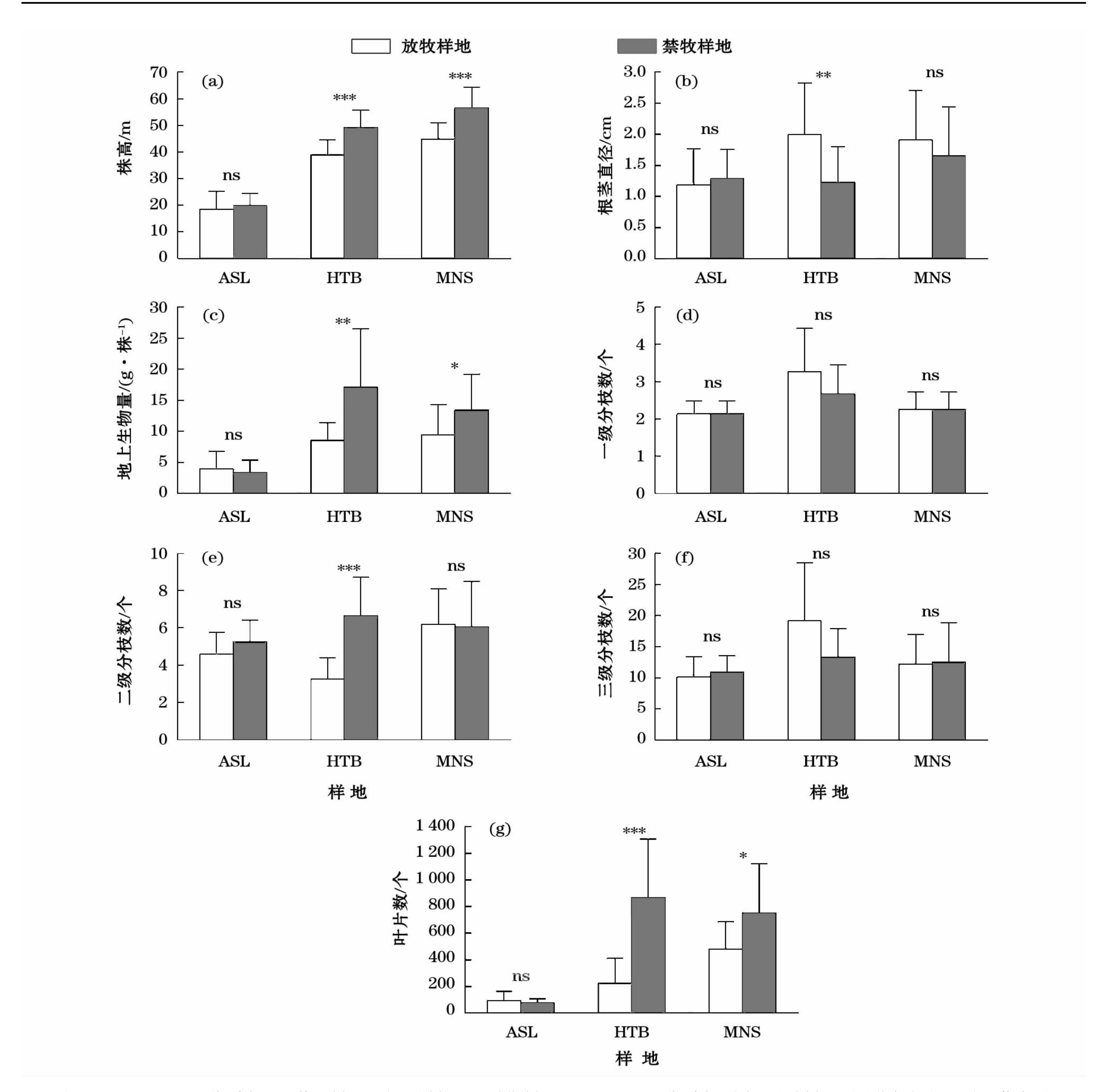
LRR = Log(禁牧下某一功能性状指标测定值/放牧下该功能性状指标测定值),若 LRR 为正值,表示禁牧促进该功能性状的增加;若 LRR 为负值,则表示禁牧降低了该功能性状。其中,单株地上生物量(AGB) = 茎生物量 + 叶生物量 + 生殖生物量;茎生物量分配(SBA) = 茎生物量/AGB × 100%;叶生物量分配(LBA) = 叶生物量/AGB × 100%;生殖生物量分配(RBA) = 生殖生物量/AGB × 100%。

采用 SigmaPlot 14.0 进行相关图的制作,结果以"平均值 ± 标准误差"表示。

2 结果分析

2.1 禁牧对伊犁绢蒿个体表型性状的影响

由图 1 看出,伊犁绢蒿个体表型特征对短期禁牧的响应因其所处区域的差异而不同。禁牧后呼图壁(玛纳斯)样地伊犁绢蒿的株高(图 1a)、地上生



注：ASL,HTB,MNS 分别表示阿什里样地,呼图壁样地,玛纳斯样地； * , ** , *** 分别表示同一试验样地测试指标间的差异显著水平依次达到 0.05,0.01,0.001 水平;ns 则表示处理间差异不显著。下同。

图 1　禁牧对伊犁绢蒿个体表型性状的影响

Fig. 1　Effect of grazing exclusion on phenotypic trait of *Seriphidium transiliense*

物量(图 1c)、叶片数(图 1g)均依次显著增加 26.67%(25.96%)、100.49%(42.47%)、286.53%(56.78%)($P<0.01$),而阿什里样地则株高增加,地上生物量及叶片数降低,但增降不显著。对于根颈直径(图 1b)而言,禁牧后仅呼图壁样地较对照极显著降低 38.54%($P<0.01$),而阿什里、玛纳斯样地呈现出不显著的增加、降低($P>0.05$)。对分枝数而言,3 个样地禁牧对伊犁绢蒿一级分枝数(图 1d)、三级分枝数(图 1f)的影响均不显著($P>0.05$)。禁牧后仅呼图壁样地二级分枝数(图 1e)极显著增加 104.08%($P<0.001$)。

2.2　禁牧对伊犁绢蒿构件生物量及其分配比例的影响

由图 2 看出,围栏内外伊犁绢蒿各构件生物量阿什里样地表现为:茎 > 叶 > 生殖,而呼图壁、玛纳斯样地则为:茎 > 生殖 > 叶(图 2a,2c,2e)。禁牧后呼图壁样地伊犁绢蒿茎生物量(图 2a)、叶生物量(图 2c)分别较对照极显著增加 133.18% 和

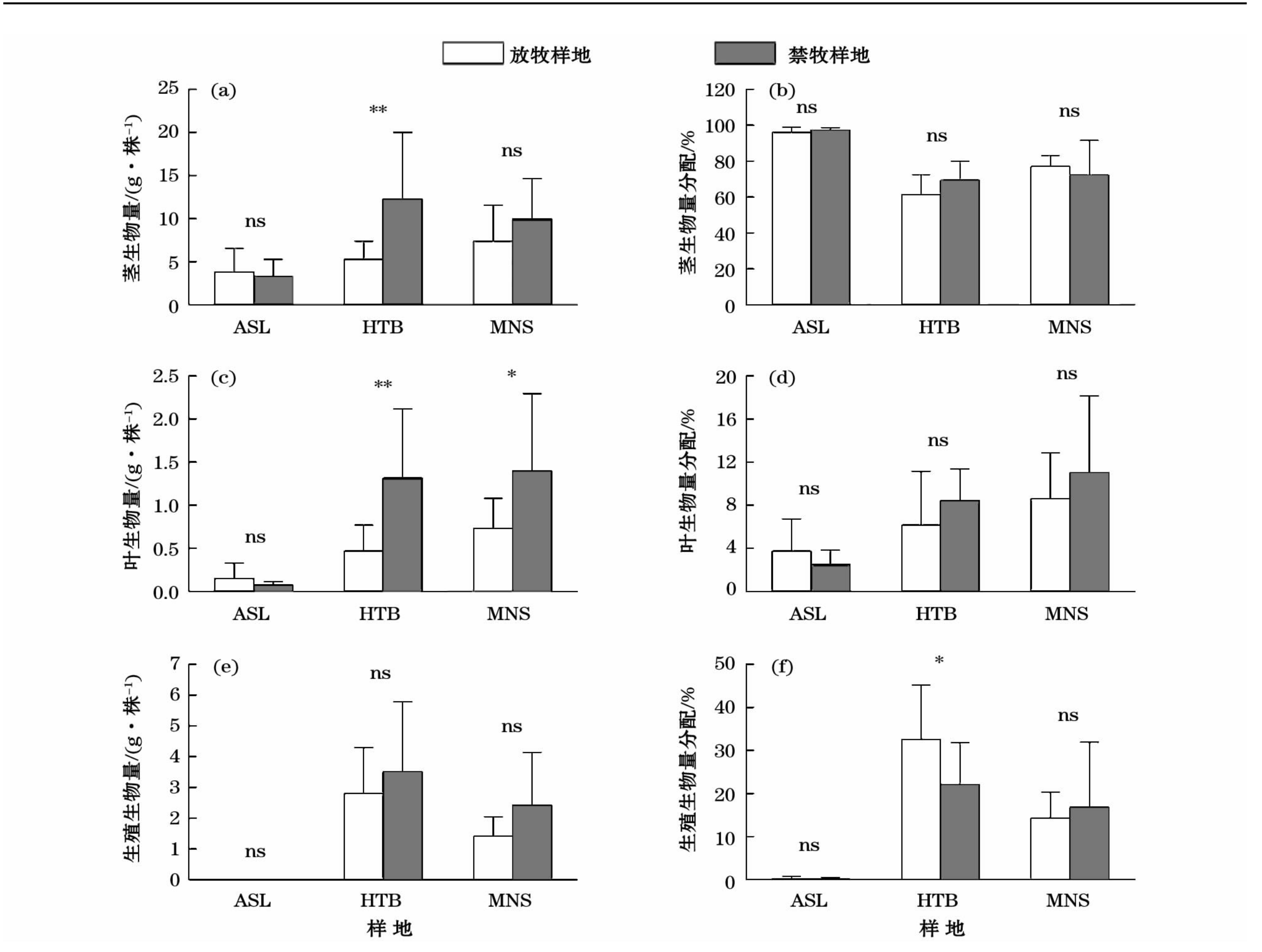


图2　禁牧对伊犁绢蒿单株构件生物量及其分配比例的影响

Fig. 2　Effect of grazing exclusion on module biomass and its allocation of *Seriphidium transiliense*

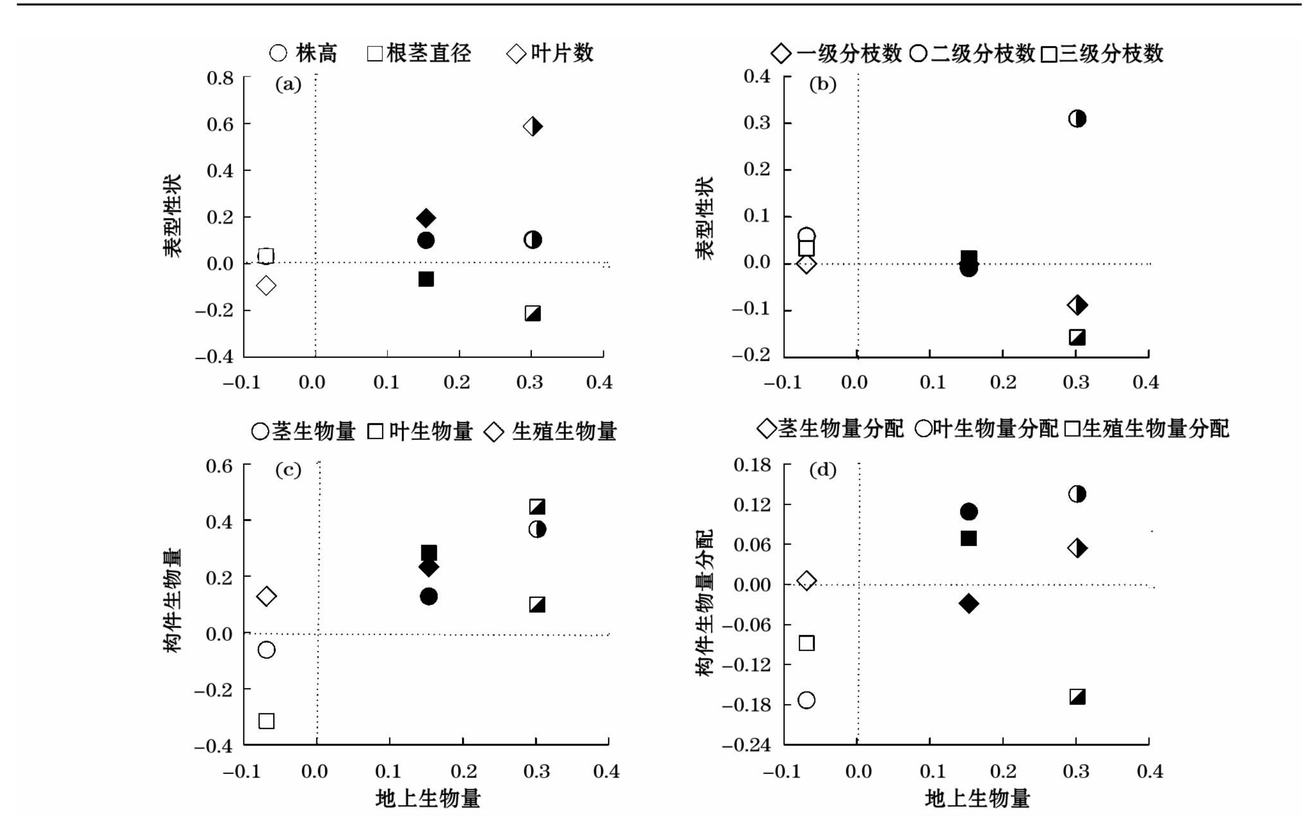
180.13%($P<0.01$),生殖生物量分配(图2f)则显著降低32.06%($P<0.05$);玛纳斯样地仅叶生物量(图2c)较对照显著增加92.14%($P<0.05$),而阿什里样地禁牧内外伊犁绢蒿各构件生物量及其分配比例差异不显著($P>0.05$)。

2.3　禁牧下对伊犁绢蒿个体功能性状的总体影响

不同区域伊犁绢蒿个体功能性状响应速率对禁牧的响应如图3所示。从图3(a~d)看出,禁牧后呼图壁、玛纳斯样地伊犁绢蒿地上生物量增加,而阿什里样点则降低。禁牧后呼图壁和玛纳斯样地伊犁绢蒿个体功能性状响应基本一致,其株高、叶片数、各构件生物量出现增加趋势,而阿什里样地除根颈直径、株高、生殖生物量略有增加外,其余性状均降低(图3a,图3c)。禁牧后阿什里和玛纳斯样地伊犁绢蒿的各级分枝数为不变或增加,呼图壁样地仅二级分枝数增加,其余分枝数均降低(图3b),而在构件生物量分配(图3d)上阿什里和呼图壁茎生物量分配、玛纳斯和呼图壁样地叶生物量分配均对禁牧响应增加,而生殖生物量分配仅玛纳斯样地增加,其余各构件生物量分配均减少。总体而言,禁牧对伊犁绢蒿多数表型性状、地上生物量及各构件生物量的恢复具有促进作用,表现为正关系。双因素总体方差分析(表2)表明,与对照相比,禁牧后伊犁绢蒿个体株高、地上生物量、叶片数、茎生物量、叶生物量均显著增加21.32%、48.97%、104.50%、50.18%、100.00%($P<0.05$),根颈直径、一级分枝数、三级分枝数依次显著降低17.65%、8.98%、11.18%($P<0.05$),而生殖生物量、各构件生物量分配均无显著变化。

2.4　伊犁绢蒿种群个体功能性状的相关分析

由表3可知,无论禁牧与否,伊犁绢蒿的株高与地上生物量、茎生物量、叶生物量、叶生物量分配、生殖生物量分配均表现为极显著正相关($P<0.05$),与茎生物量分配呈极显著负相关($P<0.01$);地上生物量与株高、根颈直径、三级分枝数、叶片数、各构件生物量、生殖生物量分配均呈极显著或显著正相



注：空心图案表示阿什里；半空心图案表示呼图壁；实心图案表示玛纳斯。

图 3　伊犁绢蒿个体功能性状响应速率对禁牧的响应

Fig. 3　Response velocity of grazing exclusion to functional traits of *Seriphidium transiliense*

表 2　禁牧对伊犁绢蒿个体功能性状的总体分析

Tab. 2　Aggregate analysis of the effect of grazing exclusion on functional traits of *Seriphidium transiliense*

类型	株高/cm	根颈直径/cm	地上生物量/(g·株$^{-1}$)	一级分枝数/个	二级分枝数/个	三级分枝数/个	叶片数/个
放牧	34.09 ±1.92b	1.70 ±0.12a	7.31 ±0.64b	2.56 ±0.13a	4.69 ±0.28a	13.78 ±1.10a	265.22 ±34.07b
禁牧	41.36 ±2.71a	1.40 ±0.10b	10.89 ±1.30a	2.33 ±0.09b	5.95 ±0.31a	12.24 ±0.73b	542.38 ±73.20a

类型	茎生物量/(g·株$^{-1}$)	叶生物量/(g·株$^{-1}$)	生殖生物量/(g·株$^{-1}$)	茎生物量分配/%	叶生物量分配/%	生殖生物量分配/%
放牧	5.48 ±0.51b	0.45 ±0.05b	1.76 ±0.25a	78.14 ±2.40a	6.17 ±0.67a	15.69 ±2.32a
禁牧	8.23 ±0.97a	0.90 ±0.14a	2.45 ±0.39a	80.38 ±2.77a	7.24 ±0.90a	12.37 ±2.14a

注:同列不同小写字母表示处理间差异达到0.05水平。

关($P<0.01$、$P<0.05$),与茎分配呈显著负关联($P<0.05$);茎生物量与叶生物量呈极显著正相关($P<0.01$),且它们均与株高、根颈直径、地上生物量、叶片数呈极显著正相关($P<0.01$);茎生物量分配与株高、地上生物量、生殖生物量呈极显著或显著负相关($P<0.01$、$P<0.05$),而生殖生物量分配与株高、地上生物量、生殖生物量极显著或显著正相关($P<0.01$、$P<0.05$),与茎生物量分配呈极显著负相关($P<0.01$)。同时也看出(表3),禁牧使伊犁绢蒿种群部分功能性状的关系发生明显改变。如禁牧后株高与根颈直径的显著正相关消失;叶片数与株高由不显著正相关转变为极显著正相关($P<0.01$);生殖生物量与株高、叶片数、茎生物量、叶生物量均由不相关转为显著正相关($P<0.05$)。

3 讨 论

形态表型等功能性状变化是植物适应外界环境变化的综合表现,也是整个响应过程的最终环节[27]。王炜等[28]研究表明,长期过度放牧导致草地植物变矮、叶片变短变窄、节间缩短、枝叶硬挺、丛幅变小,表现出的“矮化型”特征是放牧后草原生态

表3 伊犁绢蒿种群个体功能性状的相关分析

Tab. 3 Correlation analysis between functional traits of *Seriphidium transiliense*

指标	株高	根颈直径	地上生物量	一级分枝数	二级分枝数	三级分枝数	叶片数	茎生物量	叶生物量	生殖生物量	茎生物量分配	叶生物量分配
根颈直径	0.31* (0.22)											
地上生物量	0.56** (0.63**)	0.66** (0.43**)										
一级分枝数	0.17 (0.23)	0.36* (−0.25)	0.33* (0.14)									
二级分枝数	0.12 (0.14)	0.19 (−0.38)	0.28 (0.03)	0.15 (0.55)								
三级分枝数	0.18 (0.22)	0.44** (0.47**)	0.37* (0.39*)	0.73** (−0.04)	0.02 (−0.02)							
叶片数	0.56 (0.71**)	0.24 (0.29)	0.56** (0.88**)	0.05 (0.09)	0.44** (0.06)	0.03 (0.27)						
茎生物量	0.44** (0.55**)	0.56** (0.46**)	0.94** (0.97**)	0.16 (0.15)	0.38** (0.06)	0.23 (0.44**)	0.56** (0.77**)					
叶生物量	0.57** (0.70**)	0.36* (0.47**)	0.68** (0.76**)	0.03 (0.04)	0.23 (−0.02)	0.12 (0.33*)	0.78** (0.86**)	0.65** (0.66**)				
生殖生物量	0.29 (0.43**)	0.47** (0.08)	0.51** (0.73**)	0.55** (−0.10)	−0.17 (0.18)	0.54** (0.03)	−0.01 (0.81**)	0.19 (0.53**)	0.06 (0.56**)			
茎生物量分配	−0.58** (−0.66**)	−0.41* (0.02)	−0.33* (−0.35*)	−0.45** (−0.11)	0.21 (−0.15)	−0.40** (0.04)	−0.20 (−0.57**)	−0.02 (0.16)	−0.30* (−0.55**)	−0.78** (−0.56**)		
叶生物量分配	0.34* (0.60**)	−0.10 (0.19)	−0.01 (0.24)	−0.20 (−0.04)	0.01 (0.14)	−0.14 (0.11)	0.50** (0.49**)	−0.03 (0.11)	0.65** (0.68**)	−0.20 (0.15)	−0.27 (−0.79**)	
生殖生物量分配	0.51** (0.60**)	0.45** (−0.10**)	0.34* (0.36*)	0.53** (0.17)	−0.23 (0.14)	0.46** (−0.10)	0.06 (0.54**)	0.03 (0.16)	0.12 (0.42**)	0.86** (0.66**)	−0.96** (−0.97**)	−0.01 (0.60**)

注:括号外为放牧区,括号内为禁牧区。

系统结构与功能变化的重要触发机制,且被多数研究结果所证实。当放牧压力解除后,这种“矮化型”的草地植物功能性状是否得以恢复还存在一定争议,这可能与其禁牧时间长短、所处区域环境条件、禁牧前所处退化阶段、禁牧方式及研究区内不同植物个体对环境变化的敏感度和适应方式有关。如张峰等[29]认为,围封8 a后大针茅草原优势种大针茅(*Stipa grandis*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、羊草(*Leymus chinensis*)的株高及叶面积等性状特征得到显著恢复;禁牧2 a后,青藏高原东缘高寒草甸植物比叶面积及高度均显著高于放牧区[30]。罗黎鸣等[31]认为,全年禁牧10 a的拉萨干暖河谷典型亚高山草甸草原株高功能性状和可食种生物量均显著高于长期放牧区,而暖季禁牧10 a则介于两者之间。李西良等[32]指出,长期禁牧(18 a)改善了放牧导致的羊草茎叶性状小型化,株高及地上生物量显著增大,而短期禁牧(3 a)则对羊草株高、叶宽、茎粗、茎长、叶质量、茎质量、总质量等功能性状影响不显著。石红霄等[33]也进一步验证,长期放牧利用后短期禁牧(3~10 a)对高寒草甸植物叶片数、根长、根粗等功能性状恢复效果不明显,但株高、叶面积恢复明显,这可能与放牧退化下草原植物性状指标的保守性相关[28]。本研究结果显示,排除长期放牧后不同试验样地伊犁绢蒿个体功能性状的恢复效果存在一定的差异,呼图壁和玛纳斯样地的大多性状,如株高、地上生物量、叶片数、叶生物量等均呈现显著增加($P<0.05$),而阿什里样地在禁牧后功能性状均未发生显著变化($P>0.05$),但多数性状出现增加趋势。结合总体分析结果,短期禁牧后伊犁绢蒿株高、地上生物量、叶片数、茎生物量、叶生物量显著增加($P<0.05$),而二级分枝数、生殖生物量、各构件生物量分配比呈不显著增加($P>0.05$)。由此可见,禁牧一定程度上促进了伊犁绢蒿个体功能性状指标的恢复,对退化草地的修复具有重要作用,这与郑伟等[11]研究结果一致。但部分样地在禁牧期间因所处区域水热条件、禁牧前放牧历史的差异,导致其功能性状显著恢复的时间节点有一定的滞后性。短期禁牧后伊犁绢蒿的根颈直径、一级分枝数、三级

分枝数显著降低原因还需进一步研究，可能与二级分枝数的增加及各类枝条间营养竞争及功能权衡有一定的关联。

近年来，有关植物功能性状与环境适应性及不同性状间的相互关系已有大量报道，并认为植物性状对环境的适应直接表现为表型可塑性，且不同环境梯度下植物性状间存在明显协同变化规律[34]。本研究结果表明，伊犁绢蒿个体表型性状和构件生物量存在明显协同适应，株高、根颈直径、地上生物量、叶片数等性状间的相关性比较紧密，且这些性状对禁牧的响应较为敏感，表明性状间的联动响应是伊犁绢蒿功能性状对禁牧可塑性变化的重要机制。这与 Corner 假说[35]"不同的环境梯度下植物本身的个体性状会发生一定程度的协同变化"相一致。本研究结果显示，禁牧使伊犁绢蒿部分功能性状间的关系发生明显改变，如禁牧后株高与根颈直径的显著正相关消失；叶片数与株高由不显著正相关转变为极显著正相关($P<0.01$)等。这可能是排除放牧干扰后，伊犁绢蒿对光等环境资源的利用及分配方式发生改变，导致其通过改变性状间的关系来响应这种环境变化所致，这与张晶等[10]研究发现的现象"禁牧将影响植物功能性状间的相关关系，禁牧条件下植株高度与比叶面积由无关联变为极显著负关联"相吻合。

4 结 论

短期禁牧在一定程度上促进了伊犁绢蒿个体功能性状的恢复，表现为禁牧后伊犁绢蒿的株高、地上生物量、叶片数、茎生物量、叶生物量的恢复速度较快，而生殖生物量、叶生物量分配、茎生物量分配、生殖生物量分配的恢复速度较为缓慢，具有一定的保守性。不同区域伊犁绢蒿部分功能性状指标对短期禁牧响应的差异性及滞后性，与调查区域所处水热条件、放牧历史及各功能性状对外界环境变化响应的敏感性及保守性相关。

伊犁绢蒿个体表型性状与其构件生物量及分配比间均具有显著的联动效应，且短期禁牧可引起其部分个体功能性状间的相关关系发生显著改变。

参考文献(References)：

〔1〕 方精云，杨元合，马文红，等. 中国草地生态系统碳库及其变化〔J〕. 中国科学：生命科学，2010，40（7）：566 – 576.〔Fang Jingyun，Yang Yuanhe，Ma Wenhong，et al. Ecosystem carbon stocks and their changes in China's grasslands〔J〕. Scientia Sinica (Vitae)，2010，40(7)：566 – 576.〕

〔2〕 侯向阳，尹燕亭，丁勇. 中国草原适应性管理研究现状与展望〔J〕. 草业学报，2011，20（2）：262 – 269.〔Hou Xiangyang，Yin Yanting，Ding Yong. An overview and prospects for grassland adaptive management in China〔J〕. Acta Prataculturae Sinica，2011，20(2)：262 – 269.〕

〔3〕 肖金玉，蒲小鹏，徐长林. 禁牧对退化草地恢复的作用〔J〕. 草业科学，2015，32（1）：138 – 145.〔Xiao Jinyu，Pu Xiaopeng，Xu Changlin. Effects of grazing prohibition on restoration of degraded grassland〔J〕. Pratacultural Science，2015，32(1)：138 – 145.〕

〔4〕 米文宝，谢应忠. 生态恢复与重建研究综述〔J〕. 水土保持研究，2006，13（2）：49 – 53，77.〔Mi Wenbao，Xie Yingzhong. The comprehensive summarization of ecological restoration and reconstruction〔J〕. Research of Soil and Water Conservation，2006，13(2)：49 – 53，77.〕

〔5〕 赵凌平，白欣，谭世图，等. 不同年限封育对黄土高原典型草原地上植被的影响〔J〕. 草业科学，2018，35（1）：27 – 35.〔Zhao Lingping，Bai Xin，Tan Shitu，et al. Effects of different enclosure durations on aboveground vegetation in typical steppe on Loess Plateau〔J〕. Pratacultural Science，2018，35(1)：27 – 35.〕

〔6〕 初晓辉，谢勇，单贵莲，等. 放牧和封育对青藏高原南缘亚高山草甸群落结构及物种多样性的影响〔J〕. 草地学报，2017，25（5）：939 – 945.〔Chu Xiaohui，Xie Yong，Shan Guilian，et al. Effect of management patterns on community structure and species diversity of subalpine meadow of the southern margin of Tibetan Plateau〔J〕. Acta Agrestia Sinica，2017，25(5)：939 – 945.〕

〔7〕 Cheng J，Wu G L，Zhao L P，et al. Accumulative effects of 20 – year fencing on above-and below-ground biomass of typical steppe communities in arid areas of the Loess Plateau，China〔J〕. Plant Soil & Environment，2011，57(1)：40 – 44.

〔8〕 周瑶，马红彬，贾希洋，等. 不同恢复措施对宁夏典型草原土壤碳氮储量的影响〔J〕. 草业学报，2017，26（12）：236 – 242.〔Zhou Yao，Ma Hongbin，Jia Xiyang，et al. Effects of different restoration measures on storage of soil organic carbon and nitrogen in typical steppe of the Loess Hilly area in Ningxia〔J〕. Acta Prataculturae Sinica，2017，26(12)：236 – 242.〕

〔9〕 孙磊，刘玉，武高林，等. 藏北退化草地群落生物量与土壤养分的关系〔J〕. 草业科学，2016，33（6）：1 062 – 1 069.〔Sun Lei，Liu Yu，Wu Gaolin，et al. The relationships between community biomass and soil nutrients in the Northern Tibet degradation grassland〔J〕. Pratacultural Science，2016，33(6)：1 062 – 1 069.〕

〔10〕 张晶，左小安，杨阳，等. 科尔沁沙地草地植物群落功能性状对封育和放牧的响应〔J〕. 农业工程学报，2017，33（24）：261 – 268.〔Zhang Jing，Zuo Xiaoan，Yang Yang，et al. Response of plant community functional traits in different grasslands to enclosure and grazing in Horqin Sandy Land〔J〕. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2017，33(24)：261 – 268.〕

〔11〕郑伟,于辉.围栏封育对伊犁绢蒿种群构件生长和生物量分配的影响〔J〕.草地学报,2013,21(1):42－49.〔Zheng Wei,Yu Hui. Effects of enclosure on growth biomass allocation of *Seriphidium transiliense* modules in a sagebrush desert grassland〔J〕. Acta Agrestia Sinica,2013,21(1):42－49.〕

〔12〕Díaz S,Cabido M. Vive la différence:Plant functional diversity matters to ecosystem processes〔J〕. Trends in Ecology & Evolution,2001,16(11):646－655.

〔13〕Moor H,Rydin H,Hylander K,et al. Towards a trait-based ecology of wetland vegetation〔J〕. Journal of Ecology,2017,105:1 623－1 635.

〔14〕Šímová I,Violle C,Svenning J C,et al. Spatial patterns and climate relationships of major plant traits in the New World differ between woody and herbaceous species〔J〕. Journal of Biogeography,2018,45:895－916.

〔15〕张杰,李敏,敖子强,等.基于 CNKI 的植物功能性状研究进展文献计量分析〔J〕.江西科学,2018,36(2):314－318,330.〔Zhang Jie,Li Min,Ao Ziqiang,et al. Bibliometrieal analysis of plant functional traits research based on CNKI from 1955－2017〔J〕. Jiangxi Science,2018,36(2):314－318,330.〕

〔16〕朱进忠,靳瑰丽,孙宗玖,等.伊犁绢蒿荒漠草地退化生态系统研究〔M〕.北京:中国农业出版社,2013:1－15.〔Zhu Jinzhong,Jin Guili,Sun Zongjiu,et al. Study on Degraded Ecosystem of *Seriphidium transiliense* Desert Grassland〔M〕. Beijing:Chinese Agriculture Press,2013:1－15.〕

〔17〕靳瑰丽,朱进忠,刘洪来,等.退化伊犁绢蒿荒漠草地主要植物生理生态适应性研究〔J〕.草地学报,2011,19(1):26－30,37.〔Jin Guili,Zhu Jinzhong,Liu Honglai,et al. Study on physiology/ecology adaptation of main plant in degraded *Seriphidium transiliense* desert rangeland〔J〕. Acta Agrestia Sinica,2011,19(1):26－30,37.〕

〔18〕刘长娥,安沙舟,孙宗玖,等.围栏封育对新疆伊犁绢蒿草地的影响〔J〕.草业科学,2008,25(10):10－14.〔Liu Chang'e,An Shazhou,Sun Zongjiu,et al. Influence of fencing on *Seriphidium transiliense* pasture in Yili region of Xinjiang〔J〕. Pratacultural Science,2008,25(10):10－14.〕

〔19〕李坤,董乙强,安沙舟,等.短期封育对伊犁绢蒿荒漠群落特征的影响〔J〕.草业科学,2018,35(5):978－983.〔Li Kun,Dong Yiqiang,An Shazhou,et al. Effect of short-term fencing on *Seriphidium transiliense* community characteristics〔J〕. Pratacultural Science,2018,35(5):978－983.〕

〔20〕孙宗玖,安沙舟,李培英.封育方式下伊犁绢蒿可塑性贮藏营养物质的动态变化〔J〕.草业科学,2008,25(10):70－74.〔Sun Zongjiu,An Shazhou,Li Peiying. Effect of different enclosure models on flexible nutrition of *Seriphidium transiliense*〔J〕. Pratacultural Science,2008,25(10):70－74.〕

〔21〕董乙强,孙宗玖,安沙舟,等.禁牧对中度退化伊犁绢蒿荒漠草地土壤养分的影响〔J〕.草业科学,2016,33(8):1 460－1 468.〔Dong Yiqiang,Sun Zongjiu,An Shazhou,et al. Effects of grazing exclusion on soil nutrition in moderate degraded desert grassland of *Seriphidium transiliense*〔J〕. Pratacultural Science,2016,33(8):1 460－1 468.〕

〔22〕杨静,孙宗玖,杨合龙,等.封育年限对蒿类荒漠土壤有机碳组分及其碳、氮特征的影响〔J〕.草业科学,2016,33(4):564－572.〔Yang Jing,Sun Zongjiu,Yang Helong,et al. Effects of enclosure period on carbon and nitrogen characteristics and components of soil organic carbon in *Artemisia* desert〔J〕. Pratacultural Science,2016,33(4):564－572.〕

〔23〕何龙,安沙舟,靳瑰丽,等.退化伊犁绢蒿荒漠草地高光谱特征分析〔J〕.草地学报,2014,22(2):271－276.〔He Long,An Shazhou,Jin Guili,et al. Analysis on high spectral characteristics of degraded *Seriphidium transiliense* grassland〔J〕. Acta Agrestia Sinica,2014,22(2):271－276.〕

〔24〕杨红飞,李建龙,穆少杰,等.新疆三种主要草地植被类型的高光谱反射特征研究〔J〕.草业学报,2012,21(6):258－266.〔Yang Hongfei,Li Jianlong,Mu Shaojie,et al. Analysis of hyperspectral reflectance characteristics of three main grassland types in Xinjiang〔J〕. Acta Prataculturae Sinica,2012,21(6):258－266.〕

〔25〕靳瑰丽.伊犁绢蒿荒漠退化草地植物生态适应对策的研究〔D〕.乌鲁木齐:新疆农业大学,2009.〔Jin Guili. Study on the Plant Ecological Adaptation Strategy of Degraded *Seriphidium transiliense* Grassland〔D〕. Urumqi:Xinjiang Agriculture University,2009.〕

〔26〕Niu K,Zhang S,Zhao B,et al. Linking grazing response of species abundance to functional traits in the Tibetan alpine meadow〔J〕. Plant and Soil,2009,330:215－223.

〔27〕Louault F,Pillar V D,Aufrère J,et al. Plant traits and functional types in response to reduced disturbance in a semi-natural grassland〔J〕. Journal of Vegetation Science,2005,16(2):151－160.

〔28〕王炜,梁存柱,刘钟龄,等.草原群落退化与恢复演替中的植物个体行为分析〔J〕.植物生态学报,2000,24(3):268－274.〔Wang Wei,Liang Cunzhu,Liu Zhonglin,et al. Analysis of the plant individual behavior during the degradation and restoring succession in steppe community〔J〕. Chinese Journal of Plant Ecology,2000,24(3):268－274.〕

〔29〕张峰,杨阳,乔荠瑢,等.利用方式对大针茅草原植物多样性、功能性状及地上生物量的影响〔J〕.中国草地学报,2019,41(1):1－8.〔Zhang Feng,Yang Yang,Qiao Jirong,et al. Effects of utilization ways on species diversity,functional traits and aboveground biomass in *Stipe grandis* steppe〔J〕. Chinese Journal of Grassland,2019,41(1):1－8.〕

〔30〕石明明,牛得草,王莹,等.围封与放牧管理对高寒草甸植物功能性状和功能多样性的影响〔J〕.西北植物学报,2017,37(6):1 216－1 225.〔Shi Mingming,Niu Decao,Wang Ying,et al. Effect of fencing and grazing management on the plant functional traits and functional diversity in an alpine meadow on the Tibetan Plateau〔J〕. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2017,37(6):1 216－1 225.〕

〔31〕罗黎鸣,苗彦军,潘影,等.不同干扰强度对拉萨河谷草甸草原

群落特征和功能性状的影响〔J〕. 草地学报,2015,23(6):1 161－1 166.〔Luo Liming,Miao Yanjun,Pan Ying,et al. Effects of disturbance intensity on the community characteristics and functional traits of meadow steppe at a valley of the Lhasa River Basin〔J〕. Acta Agrestia Sinica,2015,23(6):1 161－1 166.〕

〔32〕 李西良,侯向阳,吴新宏,等. 草甸草原羊草茎叶功能性状对长期过度放牧的可塑性响应〔J〕. 植物生态学报,2014,38(5):440－451.〔Li Xiliang,Hou Xiangyang,Wu Xinhong,et al. Plastic response of stem and leaf functional traits in *Leymus chinensis* to long-term grazing in a meadow steppe〔J〕. Chinese Journal of Plant Ecology,2014,38(5):440－451.〕

〔33〕 石红霄,侯向阳,师尚礼,等. 放牧对三江源区高寒草甸主要植物表型特征的影响〔J〕. 草原与草坪,2015,35(3):8－12.〔Shi Hongxiao,Hou Xiangyang,Shi Shangli,et al. Effect of grazing on the phenotypic characteristics of dominant plants in alpine meadow in Three Headwater Source region〔J〕. Grassland and Turf,2015,35(3):8－12.〕

〔34〕 李西良,刘志英,侯向阳,等. 放牧对草原植物功能性状及其权衡关系的调控〔J〕. 植物学报,2015,50(2):159－170.〔Li Xiliang,Liu Zhiying,Hou Xiangyang,et al. Plant functional traits and their trade-offs in response to grazing:A review〔J〕. Chinese Bulletin of Botany,2015,50(2):159－170.〕

〔35〕 Corner E J H. The durian theory or the origin of the modern tree〔J〕. Annals of Botany,1949,13:367－414.

Response of Short-term Grazing Exclusion to Individual Functional Traits of *Seriphidium transiliense*

JIANG Sha-sha[1], SUN Zong-jiu[1,2,3], CUI Yu-xuan[1], DONG Yi-qiang[1]

(1. *College of Prataculture and Environmental Sciences*, *Xinjiang Agricultural University*, *Urumqi* 830052, *Xinjiang*, *China*;
2. *Xinjiang Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology*, *Urumqi* 830052, *Xinjiang*, *China*;
3. *Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology in Western Arid Region under Ministry of Education*, *Urumqi* 830052, *Xinjiang*, *China*)

Abstract: In this study, the phenotypic traits, biomass and allocation ratio of *Seriphidium transiliense* in the sagebrush deserts in Manas County, Hutubi County and Ashili Township of Changji City in Xinjiang were measured so as to understand the response mechanism of grazing exclusion. The response of individual functional traits of *S. transiliense* to short-term grazing exclusion was different from the different experiment plots, most of the traits, such as the plant height, aboveground biomass, leaf number and leaf biomass in Hutubi and Manas plots, were increased significantly ($P<0.05$), yet most of the functional traits in Changji plot were increased but not significantly. Compared with the control, the plant height, aboveground biomass, leaf number, stem biomass and leaf biomass of *S. transiliense* were significantly increased by 21.32%, 48.97%, 104.50%, 50.18% and 100.00% respectively ($P<0.05$), while the taproot diameter, first-grade branch number and third-grade branch number were decreased significantly, but there were no significant changes in the second-grade branch number, reproductive biomass and biomass allocation ratio ($P<0.05$). There was a significant linkage effect between the phenotypic traits and biomass allocation of *S. transiliense*, and the short-term grazing exclusion could significantly change the correlation of individual functional traits. In short, the short-term grazing exclusion could promote the recovery of individual functional traits of *S. transiliense* and facilitate the regeneration of degenerated sagebrush desert grassland.

Key words: short-term grazing exclusion; *Seriphidium transiliense*, functional trait; phenotypic trait; biomass allocation; Xinjiang